

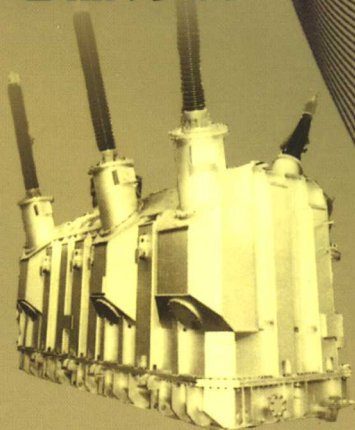
CHANGYONG GAODIYA
DIANQISHEBEI
XIANCHANG CAOZUO
YINANJIEDA

《电世界》杂志社 编

集资深专家多年经验
针对现场问题，为您指点迷津
围绕设备操作，为您解答疑惑

常用高低压电气设备 现场操作疑难解答

高压电器分册



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

常用高低压电气设备 现场操作疑难解答 高压电器分册

《电世界》杂志社 编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

在高低压电气设备的使用过程中会遇到许多问题,而《电世界》杂志“读者信箱”专栏就旨在解答读者工作实践中遇到的技术难题,内容涉及电气技术的各个领域。为满足广大读者的需要,现对2005年前该专栏的内容,按照高压电器、低压电器和电机进行分类,遴选精彩部分,编写一套《常用高低压电气设备现场操作疑难解答》,分为高压电器分册、低压电器分册和电机分册三册,以飨读者。

本书为《常用高低压电气设备现场操作疑难解答 高压电器分册》。全书共分七章,主要内容包括高压开关设备,变压器,互感器、调压器和电抗器,输、配、供、用电系统,电力电容器和无功功率补偿,避雷器和防雷,电气接地与安全等。

本书可供从事高压电器生产、运行、检修等电工人员、技术人员使用,也可供相关专业的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

常用高低压电气设备现场操作疑难解答. 高压电器分册/《电世界》杂志社编. —北京:中国电力出版社,2006

ISBN 7-5083-4222-4

I. 常... II. 电... III. 高电压-电气设备-问答

IV. TM-44

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第031249号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2006年6月第一版 2006年6月北京第一次印刷

850毫米×1168毫米 32开本 16.375印张 447千字

印数0001—3000册 定价31.00元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

前言



《电世界》杂志创刊于 1946 年，是国内历史最悠久的电气技术月刊。《电世界》坚持“综合性、实用性、普及性”的办刊方针，内容贴近生产、贴近实际，深受广大从事电气工作的科技人员、技术工人和院校师生的喜爱。

长期以来，上海市电机工程学会编辑委员会在编辑出版《电世界》的同时，还出版了《电动机文辑》、《电世界信箱选集》、《大楼的电气照明工程安装》、《电气事故的分析与处理》、《电子实用线路》、《家用电冰箱原理与维修》、《工矿企业电气设备典型线路》、《电工测验 500 例》、《工厂实用电动机调速技术》、《电工作业安全技术》、《新编电工问答 2200 例》等《电世界》丛书，深受广大读者欢迎。

“读者信箱”专栏是《电世界》的特色栏目之一，旨在解答读者工作实践中遇到的技术难题，是《电世界》为读者构建的免费咨询服务平台。多年来，“读者信箱”专栏来信踊跃，内容涉及电气技术的各个领域，深受广大读者的欢迎。值此《电世界》创刊 60 周年之际，我们对 2005 年及以前该专栏的内容按专业进行分类，遴选精彩部分，汇编成《常用高低压电气设备现场操作疑难解答》，以飨读者。同时，也为《电世界》创刊 60 周年献礼。

本书《常用高低压电气设备现场操作疑难解答》共分高压电器分册、低压电器分册和电机分册三本。

本分册即为高压电器分册，以高压开关、变压器、互感器、输

配供电系统、电容器和无功补偿、避雷器和防雷、电气接地与安全为主要内容。在出版过程中得到了许多专家的支持，他们为“读者信箱”付出了辛勤的劳动，在此谨向曲培斌、陈叔涛、郑景清、姜益民、吴寿录、万善良、庄思成、万幸倍、王泉根、徐维钧、俞松尧、崔伦元、石仁华、王常余、林维勇、王一字、王厚余等同志表示感谢。

本分册由郑红华任主编，郑伟明、冯维泰、陆弘同志参加编写。

《电世界》杂志社

2006年3月

目 录

前言

1 高压开关设备	1
1.1 基本概念	1
1.1.1 断路器与隔离开关的区别	1
1.1.2 高压开关几个基本参数	2
1.2 高压电器设备	4
1.2.1 多油断路器	4
1.2.2 少油断路器	5
1.2.3 真空断路器	9
1.2.4 高压隔离开关	9
1.2.5 高压熔断器	10
1.2.6 操动机构	11
1.3 高压开关柜和配套熔断器、电流互感器	13
1.3.1 高压开关柜	13
1.3.2 配套熔断器和电流互感器	17
2 变压器	22
2.1 变压器的基本原理和结构	22
2.1.1 基本原理	22
2.1.2 主要参数	24
2.1.3 结构和安装	29
2.2 变压器绕组的连接和改接	31
2.2.1 连接	31
2.2.2 改绕	38
2.2.3 改变联结组标号	40
2.2.4 其他改接	42
2.3 变压器的测试	45
2.3.1 绝缘电阻测试	45
2.3.2 损耗测试	47
2.3.3 耐压试验	51
2.3.4 其他测试	53

2.4 变压器的运行	57	2.6 变压器的维护与修理	99
2.4.1 运行中的计算	57	2.6.1 铁心	99
2.4.2 过载运行	61	2.6.2 导线与绕组	103
2.4.3 并联运行的条件	67	2.6.3 附件和箱体	109
2.4.4 两台变压器并联运行	72	2.6.4 吊芯和变压器 烘干	113
2.4.5 三台变压器并联运行	74	2.6.5 注油	120
2.5 变压器的运行故障	76	2.7 特种变压器	123
2.5.1 噪声故障	76	2.7.1 整流变压器	123
2.5.2 漏油故障	77	2.7.2 试验变压器	125
2.5.3 过热故障	81	2.7.3 电炉变压器	129
2.5.4 三相电阻或电流 不平衡	86	2.7.4 干式变压器	131
2.5.5 断相或接地故障	88	2.7.5 其他变压器	132
2.5.6 过电压击穿故障	91		
2.5.7 其他故障	94		

互感器、调压器和电抗器

3.1 电流互感器	137	3.2.1 原理和连接	159
3.1.1 原理和电流比	137	3.2.2 测试	164
3.1.2 连接和开路	144	3.2.3 使用与故障、维修	172
3.1.3 测试	149	3.3 调压器和电抗器	175
3.1.4 使用与故障、维修	154	3.3.1 调压器	175
3.1.5 特殊电流互感器	158	3.3.2 电抗器	180
3.2 电压互感器	159		

输、配、供、用电系统

4.1 输、配、供、用电系统 的基本概念	181	度计费	187
4.1.1 几个名词解释	181	4.2 架空线路和绝缘子	188
4.1.2 电网相序、无功负荷 和供电电压	185	4.2.1 架空导线截面选择和 运行	188
4.1.3 厂用电负荷统计和电		4.2.2 架空电杆及架设	195
		4.2.3 架空绝缘子	196

4.2.4 高压输电线对通信线的 影响	199	4.6.1 发电站和输电线路的 继电保护	235
4.2.5 输电线路的绝缘 电阻	200	4.6.2 变配电站的继电保护	239
4.3 电力线路的分合闸 操作	201	4.6.3 配电线路的继电保护	246
4.3.1 空载合闸时的电流、 电压	201	4.7 电力线路故障和接 地点查找	250
4.3.2 线路中断路器、隔离 开关的分、合闸操作	203	4.7.1 铁磁谐振故障	250
4.3.3 线路中熔断器操作和 熔丝选择	210	4.7.2 单相接地故障和虚幻 接地	256
4.4 自备发电机组的并网 运行	211	4.7.3 断相故障	262
4.4.1 并网运行中的中性线 电流	211	4.7.4 三相不平衡负荷引起 的异常情况	266
4.4.2 并网运行中的功率因 数	212	4.7.5 其他故障现象	268
4.4.3 并网运行时的其他问 题	216	4.7.6 短路电流计算	273
4.4.4 作应急电源时的运行	222	4.7.7 查找线路故障点 方法	274
4.5 电力线路的运行	225	4.8 供用电系统	276
4.5.1 线路电压波动及调整 方法	225	4.8.1 工厂企业供电	276
4.5.2 提高线路电压的方法	229	4.8.2 矿山供电及防爆	281
4.5.3 线路损耗	232	4.8.3 建筑物供电	285
4.6 电力线路的继电		4.8.4 用电线路的敷设	289
		4.8.5 用电系统的中性线及 其故障	293
		4.8.6 机电设备用电及其 故障	296
		4.8.7 其他用电问题	300
 电力电容器和无功功率补偿			304
5.1 电力电容器及其 使用	304	5.1.2 电力电容器选用和代 用	306
5.1.1 电力电容器结构	304	5.1.3 电力电容器测试	309

5.1.4 电力电容器维护与检修	312	5.4.1 无功功率补偿装置原理和选用	344
5.2 电力电容器的接线和运行	316	5.4.2 无功功率补偿装置中的串联电抗器	348
5.2.1 电力电容器接线	316	5.5 无功功率补偿装置的运行和故障	351
5.2.2 电力电容器计算	320	5.5.1 无功功率补偿装置运行	351
5.2.3 电力电容器运行	324	5.5.2 谐振故障	353
5.3 无功功率补偿	329	5.5.3 断路器操作故障	358
5.3.1 发电机无功功率补偿	329	5.5.4 熔断器、热继电器等保护操作故障	360
5.3.2 变压器无功功率补偿	331	5.5.5 接触器操作故障	363
5.3.3 电动机无功功率补偿	336	5.5.6 照明等故障	365
5.3.4 功率因数和无功功率计测	342		
5.4 无功功率补偿装置	344		



避雷器和防雷

6.1 避雷器和避雷装置	367	6.3.3 变压器防雷接地	404
6.1.1 避雷器	367	6.4 电力系统防雷	405
6.1.2 避雷器试验设备和接线	373	6.4.1 变配电站防雷	405
6.1.3 避雷器试验	376	6.4.2 电力线路防雷	409
6.1.4 避雷针和避雷线	381	6.4.3 电压互感器防雷	412
6.1.5 避雷装置的接地	385	6.5 建筑物防雷	415
6.2 电气设备防雷	387	6.5.1 一般建筑物防雷	415
6.2.1 发电机防雷	387	6.5.2 高层建筑防雷	421
6.2.2 电动机防雷	389	6.5.3 工业厂房防雷	424
6.2.3 电气开关、电能表等电气设备防雷	391	6.5.4 烟囱防雷	426
6.3 变压器防雷	393	6.5.5 露天起重设备、钻塔防雷	428
6.3.1 变压器用避雷装置安装位置和选配	393	6.5.6 易燃、易爆构筑物防雷	431
6.3.2 变电站雷击分析	398	6.5.7 通信和天线馈线防雷	434
		6.6 低压配电系统电涌过	

电压保护和 SPD	438	6.6.2 SPD 的作用	439
6.6.1 低压配电系统中被保		6.6.3 SPD 的选用	440
护设备分类	438	6.6.4 SPD 的安装	442



7 电气接地与安全	446
------------------------	------------

7.1 接地装置和接地		7.3.4 中性线和保护线	478
电阻	446	7.4 低压配电系统接地	481
7.1.1 接地装置	446	7.4.1 TN - C 系统	481
7.1.2 接地装置的施工	451	7.4.2 TN - C - S 系统	484
7.1.3 接地电阻计算	454	7.4.3 TN - S 系统	487
7.1.4 接地电阻测量	457	7.4.4 TT 系统	491
7.2 电力设备接地	464	7.4.5 IT 系统	491
7.2.1 发电机接地	464	7.5 电气安全	495
7.2.2 变压器接地	465	7.5.1 电击和产生电击的	
7.2.3 电压互感器接地	467	原因	493
7.2.4 电力线路接地	468	7.5.2 漏电保护器	496
7.2.5 避雷装置接地	469	7.5.3 医院电气安全	500
7.3 电气设备接地	471	7.5.4 潮湿场所电气安全	504
7.3.1 电动机接地	471	7.6 静电和静电消除	
7.3.2 工业控制设备接地	472	方法	506
7.3.3 有爆炸危险场所电气		7.6.1 静电产生的原因	506
设备接地	475	7.6.2 静电的消除方法	509

① 高压开关设备

● 1.1 基本概念

1.1.1 断路器与隔离开关的区别

【问】 断路器与隔离开关有何区别？“令克”是不是指高压断路器？

【答】 断路器与隔离开关的构造及在线路上的作用是不同的。断路器是用以切断线路上的负荷电流及短路电流，故断流能力很大。它有油浸、压缩空气、真空、六氟化硫等多种，都有特殊的熄灭电弧用的部件。

隔离开关仅仅在线路无负荷时作隔离线路之用，构造简单，类似闸刀。“令克”是隔离开关，不是高压断路器，它是外来译音名称。

【问】 设有一企业总设备容量为 7000kW（系计划 15 年以内发展情况），计算使用电压为 10kV，要修建一座配电所，试问需要用几台油断路器？是否应该备用一台？

【答】 按该企业在 15 年内发展情况, 设备总容量为 7000kW, 使用电压为 10kV, 功率因数为 0.8 (题中未说明), 则其总电流应为

$$I = 7000 \times 1000 / (\sqrt{3} \times 10000 \times 0.8) = 505.1 (\text{A})$$

一般主变压器的容量应为负荷的 125%，导体、油断路器应为计算设备容量的 200% ~ 300%，故受电油断路器的额定电流应为 $505.1 \times 200\% = 1010.2$ (A)，约为 1200A，安全系数为 2。可用两台额定电流为 600A 的油断路器。

是否要考虑备用一台，要看该企业的停电带来的危害性。如为了避免检修油断路器时造成停电，则可设一台备用油断路器。

【问】 有一次，按操作规程进行送电约 3min 后突然停电。经检查，35kV 高压油断路器跳闸，但没有找到故障原因。后继续送电，没有再出现跳闸现象，不知是什么原因？

【答】 按题中所述，供电线路大致如图 1-1 所示。

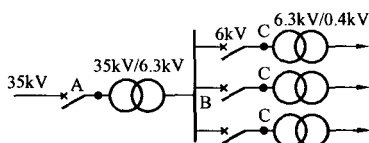


图 1-1 供电线路

若逢自动重合闸装置失灵，则故障有两种可能：

(1) 35kV 油断路器后到 6kV 油断路器前（图中 A、B 间）的线路段，由于某种偶然原因而造成瞬时性短路，引起 35kV 油断

路器跳闸。此原因自动排除后，油断路器再合闸时就没有再次出现跳闸现象。

(2) 在 6kV 油断路器（如图 1-1 中 C 点）之后发生类似上述的瞬时短路，但因 6kV 油断路器与 35kV 油断路器的继电保护动作值调整不当，结果造成 6kV 油断路器未跳闸而 35kV 油断路器越级跳闸。

若自动重合闸装置完好，则可能由于系统中发生了偶然性的短时过电流，在油断路器跳闸后，此过电流因素也随之消除。

1.1.2 高压开关几个基本参数

【问】 在订购高压开关时，厂家都注明适用于海拔 1000m 以下的地点，这是什么原因，可是使用在海拔 1500m 的地方，也没有发生什么异常现象，何故？

【答】 一般高压开关使用于高海拔地区时，由于高原气候条件的特征，对它的绝缘强度、温升等均有不同程度的影响。其中以高压电器的外绝缘强度最为显著，因而高海拔地区使用的高压开关的外绝缘需要特别加强，在订货时需向制造厂特别说明。至于电气设

备的允许工作电压 U 与海拔高度 H 的关系为

$$U = \frac{U_1}{k} \times \frac{p}{760}$$

式中 U_1 ——试验电压；

k ——安全系数；

p ——气压，气压 k 与海拔高度 H 有关，具体的关系见表 1-1。

表 1-1 气压与海拔高度关系

海拔高度 H (m)	0	1000	2000	3000	4000
最低气压 (Pa)	10×10^4	9×10^4	8×10^4	7×10^4	6×10^4
最高气温 ($^{\circ}\text{C}$)		40	35	30	25

如果将适用于海拔 1000m 以下的电气设备用于海拔 1500m 的地点，则其绝缘能力较差，如遇过电压（例如雷击或操作过电压等）情况发生，即易于遭受击穿而破坏。

温升随海拔高度 H 的升高而增加，但由于气温随海拔高度 H 升高而降低（见表 1-1），一般两者又可以补偿，因而在实际使用中，额定电流值可以保持不变。

【问】 高压负荷开关—熔断器组合电器存在着转移电流。请问什么叫转移电流？

【答】 高压负荷开关—熔断器组合电器存在着转移电流的问题需从几个方面来理解：

(1) 从设备本身而言，高压负荷开关—熔断器组合电器必须是熔断器在熔断的瞬间即驱动负荷开关分闸，而且是任何一相熔断器熔断都能驱动负荷开关分闸。

(2) 负荷开关的基本特定参数都是以开断负荷电流的能力来表示其应有的性能，在一般情况下均是能够开断正常额定电流下的负荷电流或比额定电流略大一点的负荷电流（这主要取决于负荷开关的自身性能），但是负荷开关不具备切断短路故障电流的能力，而

是由熔断器来承担开断故障电流的功能。

(3) 高压负荷开关—熔断器组合电器在一般常规下用于配电变压器的回路,而配电变压器的联结组别有 $Dy11$ 和 $Yyn0$ 两种基本接线,因此当变压器低压侧发生各种不同性质的短路故障时,高压侧的三相熔断器有可能不同时熔断或首先开断其中一相而驱动负荷开关分闸。此时负荷开关必将要切断一相开断后在两相电源电压作用下的故障电流,此种情况下的故障电流就称为“转移电流”。转移电流的大小将决定于故障形式和断开的电源相别。因此,转移电流是考核负荷开关—熔断器组合电器的一个重要指标。

● 1.2 高压电器设备

1.2.1 多油断路器

【问】 $DW1-35$ 型多油断路器(作分路出线开关)在运行中发现操动机构箱内冒烟,其中一箱油位计盖帽处冒油,防爆管、继电保护均未动作,应如何正确处理?

【答】 要检查一下冒烟的颜色。判断是有机物质过热(或燃烧)产生气体(较浓)还是油温较高产生油烟;油断路器消弧室和动触头有无卡死而造成接触不良发热(这需要平时掌握设备修理或安装状态);油箱是否装正,有无内部距离不够而放电(外壳已接地,安全措施已着落时,可用听棒听箱内有无放电声);电流互感器二次侧导线接触是否良好(电流回路有无异常情况)等。至于油位计盖帽处冒油,这要看原来油位情况而定,可能因油温高而使油位升高,也可能原来油已加得太满(故要掌握历来情况)。查清原因后,才能对症下药进行处理。

【问】 $DW2-35$ 型油断路器套管漏胶是什么原因?并应如何防止?

【答】 套管漏胶原因一般有:①变压器油渗入套管绝缘胶内,使绝缘胶融化后漏下;②套管过热,使胶软化漏下。

防止的方法主要是不使油渗入或过热。漏胶的套管对绝缘有影

响,需要补浇胶。若套管介质损耗已过大,则须将胶融去,在电容套管的表面用汽油或苯揩净,经过真空烘燥处理,再重新浇胶。胶的质量须选择适当,软化点不可太低,冻裂点又不可太高,否则,在冬天易开裂,使潮气侵入。

1.2.2 少油断路器

【问】 少油断路器为什么要使用 25 号变压器油?

【答】 少油断路器采用变压器油作为介质,要求油有一定的绝缘强度,同时作为灭弧介质,要求凝固点低、闪点高、不易燃烧。

各牌号变压器油特性按 GB/T 2536—1981《褐煤蜡灰分测定方法》,见表 1-2。从表 1-2 来看,SN10-10 型选用 DB-25 (即 25 号变压器油)最为适合。新油或经过滤处理的油击穿电压应不小于 35kV/mm。

表 1-2 GB 2536—1981 中变压器油主要性能

牌 号	DB-10	DB-25	DB-45
凝点 (不高于,℃)	-10	-25	-45
闪点 (不低于,℃)	140	140	135

【问】 少油断路器油位为什么应该保持在规定的高度范围内?

【答】 少油断路器都在灭弧室侧上方装有一油表,用以指示油位。

因为少油断路器中变压器油主要作为灭弧之用,因此需要一定量的油。油太少了(在下限以下)可能引起灭弧时油不足,不能切断电流,则易发生燃烧爆炸;油太多了影响灭弧室顶部的缓冲气囊,灭弧室承受过大气压时,可能损坏。

为此,标定了标准位置。至于上、下限,考虑到日夜温差等因素,略有变动,但必须在允许范围内。这些经过型式试验验证是有效的。所以,使用时必须经常检查油位,消除因漏油因素造成油量不足,防止发生切断故障电流时失败等危险。

【问】 某单位几台 SW4-110 型少油断路器在梅雨季节检修时常发现下瓷套和三角箱内的绝缘油不合格，经用合格油冲洗及长时间使用压力滤油机过滤后，油样耐压仍达不到标准，不知何故？应如何处理？

【答】 由于少油断路器中的油量较少，油中稍有污染（水分、杂质等）对油的品质影响极为敏感。对于 SW4-110 型少油断路器在梅雨季节注油不易合格的现象，要根据具体情况采取措施。

断路器内部轻度受潮，一般可以在常温下通过循环滤油（用滤纸过滤）处理，循环次数一般按耐压标准确定，有条件时最好测定油中微量水分，大修后的水分对 110kV 断路器可考虑按 30×10^{-6} 掌握。如果效果不好，可将油加热，以提高效率。但不论加热与否，所用的滤纸必须采用事先经过良好焙烘的干燥纸。

断路器内部严重受潮时，只采用上述方法往往不见效果。在这种情况下，通常要先将内部绝缘部件，如灭弧室、绝缘提升杆等进行彻底烘燥后，再进行循环滤油处理，才能见效。

进行绝缘油处理与现场天气情况大有关系。干燥的油、纸绝缘对潮气极为贪婪，这可使处理中的油和滤纸以及所取的油样吸收潮气，往往耐压不合格。因此，原则上要避开在梅雨季节或高湿度天气做油的处理。

【问】 SN10-10 型少油断路器除了一年一度所做的预防性试验及更换绝缘油外，请问该型少油断路器换油时间的标准是多长？

【答】 在运行正常的情况下，一般经 3~4 年后应更换一次新油；若油质仍然较干净，且取样检验合格，则可不必要更换。

绝缘油必须保持干净，应经常注意油标内的油色。如发现油色发黑，或出现胶质状，就需及时更换新油。新油必须先检验，不合格的绝缘油不准加入油箱。

事故跳闸后应检查油色，一般跳闸 3~5 次应换新油。

【问】 SN10-10 型少油断路器的绝缘油必须保持干净，如油色

发黑，就须更换新油。请问为什么？

【答】 少油断路器中的绝缘油主要是用来灭弧的。在运行中检查油色可方便地判断油质变化程度。新油一般为浅黄色，色泽透明。如果运行中油发黑，则说明油中含有游离碳、机械混合物等，油质已变坏，会影响灭弧性能。因此必须更换新油，以确保少油断路器的安全运行。

【问】 用于少油断路器控制电路中的辅助开关触头因拉弧烧坏，想在触点处并联 RC 吸收装置消除拉弧，请问是否可行？

【答】 RC 吸收装置一般用于吸收触头断开时产生的过电压，以免击穿线路中的其他操作线圈。

对于辅助开关触头断开时产生的电弧，在设计中应考虑用灭弧装置加以吸收。对定型的产品，用户可采取串联触头（高电压）或并联触头（大电流）方法来减轻触头拉弧。只有在交流回路中控制电流过零时断开，辅助开关触头才不会拉弧。若采用触头处并联 RC 吸收装置，则触头断开后，在交流回路始终有一电流流过 RC，控制电路不能完全断开，会影响控制功能。

【问】 某厂 10kV 母联少油断路器选用 SN10-10/630A 型，隔离开关选用 GN19-10C/630A 型。一次在技术人员的指导下进行母联断路器加油，当工作人员卸下 C 相断路器加油孔螺钉时，强大的电弧造成人员严重烧伤。请问是什么原因引起的？是否由静电引起？

【答】 若在加油前按《电业安全工作规程》的规定，将停电设备先行接地、放电，就不会发生此事故了。

从“强大的电弧烧伤”来看，好像属交流电压（电流）所致。

若由于设备具体布置的原因，有其他带电母线或设备与母联断路器系统相距较近，在高压下形成电容耦合，使母联断路器在停电后，仍有所谓感应电压（交流）而造成电击。这可以用静电电压表或高内阻万用电表测量验证。